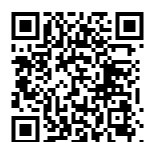
ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ
INFORMATION TECHNOLOGY, COMPUTER SCIENCE, AND MANAGEMENT



УДК 004.891.2 https://doi.org/10.23947/1992-5980-2020-20-1-100-105

Моделирование информационно-аналитической системы мониторинга производственной безопасности на основе экспертных оценок



О. А. Захарова[1], А. В. Селихина[2], Т. Г. Везиров[3]
[1,2] ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет» (г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация)
[3] ФГБОУ ВО «Дагестанский государственный университет народного хозяйства» (г. Махачкала, Российская Федерация)

Введение. Исследована математическая модель системы мониторинга производственной безопасности в области машиностроения. Цель работы — создание математической модели на основе экспертных оценок параметров безопасности рабочего места с расчетно-экспериментальным обоснованием ее применимости для экспертной системы мониторинга безопасности «СТРАЖ».
Материалы и методы. Предложена классификация экспертных систем для предприятий машиностроения. Рассмотрены этапы создания экспертных систем. Представлена методика оценки согласованности экспертов как основа для моделей экспертных систем в области безопасности машиностроительных производств.
Результаты исследования. Выявлены основные параметры безопасности рабочего места. Создана матрица экспертной оценки параметров, основанная на мнении ведущих экспертов в области машиностроения. Приведены результаты моделирования экспертной системы «СТРАЖ» с расчетно-экспериментальным подтверждением применимости математической модели. Обоснованы преимущества внедрения экспертных систем для повышения уровня безопасности персонала.
Обсуждение и заключения. Полученные результаты имеют высокую степень согласованности экспертов и могут быть использованы в разработке экспертных систем мониторинга безопасности для предприятий машиностроения.

Ключевые слова: моделирование, экспертные системы, база знаний, экспертная оценка, машиностроение, параметры безопасности, конкордация.

Для цитирования: Захарова, О. А. Моделирование информационно-аналитической системы мониторинга производственной безопасности на основе экспертных оценок / О. А. Захарова, А. В. Селихина, Т. Г. Везиров // Вестник Донского государственного технического университета. — 2020. — Т. 20, № 1. — С. 100−105. https://doi.org/10.23947/1992-5980-2020-20-1-100-105

© Захарова О. А., Селихина А. В., Везиров Т. Г. 2020



Modeling an analytics system for industrial safety monitoring based on expert assessments

O. A. Zakharova[1], A. V. Selikhina[2], T. G. Vezirov[3]
[1,2]Don State Technical University (Rostov-on-Don, Russian Federation)
[3]Dagestan State University of National Economy (Makhachkala, Russian Federation)

Introduction. A mathematical model of the industrial safety monitoring system in mechanical engineering is investigated. The work objective was to create a mathematical model based on expert assessments of workplace safety parameters with a calculated and experimental justification of its applicability to the “STRAZH” expert security monitoring system.
Materials and Methods. The classification of expert systems for engineering enterprises is proposed. The stages of creating expert systems are considered. A methodology for assessing the consistency of experts as a basis for models of expert systems in the field of mechanical facilities safety is presented.
Results. The basic safety parameters of the workplace are identified. A matrix of expert evaluation of parameters based on the opinion of leading experts in the field of engineering is created. The results of modeling the expert system “STRAZH” with the calculated and empirical support of the mathematical model validity are presented. The advantages of implementing expert systems to increase the level of personnel safety are proved.

Discussion and Conclusions. The results obtained have a high degree of expert coordination and can be used in the development of expert safety monitoring systems for engineering enterprises.

Keywords: modeling, expert systems, knowledge base, expert assessment, mechanical engineering, safety parameters, concordance.

For citation: O.A. Zakharova, A.V. Selikhina, T.G. Vezirov. Modeling an analytics system for industrial safety monitoring based on expert assessments. Vestnik of DSTU, 2020, vol. 20, no. 1, pp. 100−105. https://doi.org/10.23947/1992-5980-2020-20-1-100-105

Введение. Трудно формализуемые процессы осложняют полную автоматизацию машиностроительного производства. Умное производство, умное предприятие и аналогичные им структуры реализуются только на базе информационно-аналитических систем (ИАС) с использованием компонентов искусственного интеллекта. В настоящее время в технической и специальной литературе не представлено единое, классическое определение умного производства. Однако специалисты сходятся во мнении, что под «умным производством», «умным предприятием», «умным заводом» (smart factory) понимается прежде всего широкое использование информационных технологий, вычислительных устройств, сенсоров и распределенных сетей для реализации высокоэффективного производственного процесса и обеспечения максимальной безопасности его участников [1].

Современный подход к разработке интеллектуальных ИАС для умного производства предполагает широкое использование новых методов представления знаний и запрограммированных эмпирических алгоритмов их обработки [2].

В первую очередь среди ИАС, используемых в машиностроении, выделим два наиболее перспективных класса.

1. Информационно-управляющие системы (ИУС). Проектируются для мониторинга и управления трудно формализуемых технологических объектов. Обязательные компоненты в структуре ИУС:

— модуль сбора и обработки больших массивов данных (big data) по определенным алгоритмам;

— модуль формирования экспертной оценки [3].

2. Экспертные системы (ЭС). Проектируются для сбора, обработки и анализа формализованного опыта специалистов в конкретной области машиностроения. Обязательные компоненты в структуре ЭС:

— модуль аккумуляции знаний специалистов в конкретной области машиностроения;

— модуль формирования альтернативных сценариев управления в конкретных условиях на основе эмпирического опыта специалистов [4].

ИАС обоих классов представляют собой сложные программные комплексы, создаваемые для тиражирования эмпирического опыта и разработанных на его основе алгоритмов с целью повышения эффективности машиностроительных производств.

База знаний является центральным элементом системы, формирующимся в процессе моделирования, проектирования и эксплуатации ЭС. Главное отличие ЭС от других информационных систем — решение четко ограниченного круга проблем в конкретной области [5]. В отличие от традиционных машинных решений, ЭС используют не процедурный анализ, а обработку дедуктивных рассуждений. Подобные системы могут находить решение плохо определенных и неструктурированных задач [6].

Материалы и методы

ЭС в машиностроении. В современном мире для мониторинга, предупреждения и прогнозирования чрезвычайных ситуаций используются накопленные, обработанные и проанализированные знания, являющиеся результатом эмпирических исследований нескольких поколений специалистов. В связи с этим ЭС незаменимы при моделировании и предсказании опасных событий.

Информационно-управляющие и ЭС проектируются в два этапа:

— проектирование модуля накопления и структуризации знаний в конкретной области;

— проектирование модуля разработки рекомендаций и принятия управляющего решения на основе конкретных фактов и параметров мониторинга состояния объекта.

Использование ЭС в области охраны труда на предприятиях машиностроения обусловлено необходимостью воспроизведения знаний опытных специалистов-экспертов. Это один из концептуальных этапов развития цифрового производства. С точки зрения пользователей, ЭС актуальны по ряду причин:

— решают различные практические задачи и по результатам не уступают людям-экспертам;

— ориентированы на решение широкого круга задач в неформализованных областях;

— не требуют особых навыков программирования, и работа с ними доступна широкой аудитории квалифицированных пользователей [7].

В машиностроении ЭС помогают принимать решения, управлять объектами, выявлять аварийные ситуации и отказы, проектировать производство. На рис. 1 представлены основные классы задач, решаемых ЭС в машиностроении [8].

ЭКСПЕРТНЫЕ СИСТЕМЫ В МАШИНОСТРОЕНИИ

Диагностирование	Поддержка Принятия решений	Планирование	Контроль и управление	Мониторинг	Прогнозирование	Обучение
– качества сборки, монтажа машин – промышленного оборудования – производственного потенциала предприятия	– при планировании ремонтных работ – в оперативном планировании	– объемов производства – задач проектирования	– технологическим процессом изготовления продукции – электротехническим оборудованием	– технологического процессом изготовления продукции – оборудования – аварийных ситуаций	– нежелательных событий на потенциально опасных объектах – работоспособности оборудования	– ЭС работы с технологическим оборудованием.

Рис. 1. Основные классы задач, решаемые ЭС в машиностроении

В практике машиностроительных производств для станков ТВ-7, оснащенных функцией контроля точности обработки изделий, используются ЭС типа «Архимед 2008». В процессе технологической обработки для выявления возможных отклонений с помощью системы «Архимед 2008» рассчитываются базовые окружности в поперечных и продольных сечениях детали, геометрические параметры. При этом выявляются проблемы с отклонением профиля продольного сечения, отклонением от округлости, овальности, определяются погрешности размеров, волнистости и др. [9].

Опыт использования ЭС в машиностроении позволил выявить главные преимущества их внедрения:
— рост качества принимаемых решений,
— улучшение качества изготавливаемых изделий,
— увеличение производительности,
— повышение квалификации работников.

Следует заметить, что в машиностроительном производстве целесообразно применять ЭС для решения сложных задач [10].

Ключевое понятие охраны труда в машиностроении — «рабочее место». Это место, где работник должен находиться или куда ему необходимо прибыть в связи с его работой. Оно прямо или косвенно находится под контролем работодателя. Безопасность на рабочем месте регулируется Системой стандартов безопасности труда ССБТ (ГОСТ 12). Следует отметить, что ЭС не позволяют в полной мере контролировать безопасность на рабочем месте.

Для повышения достоверности управляющих решений в модель безопасности рабочего места следует ввести обобщенную экспертную оценку. Ключевой момент в проведении экспертной оценки — выбор компетентных специалистов, имеющих опыт работы в заявленной области и способных к адекватной оценке технологической ситуации [11].

Постановка задачи. На основе анализа предметной области и экспертных оценок разработать математическую модель и провести расчетно-экспериментальное обоснование ее применимости для ЭС мониторинга безопасности «СТРАЖ» («Система точного расчета алгоритмов жизнедеятельности).

Исходные данные. На основе анализа литературных источников и мнения специалистов-практиков были выделены 11 основных параметров безопасности рабочего места.

1. Оснащенность (функциональное наполнение).
2. Соответствие оборудования антропометрическим особенностям работника.
3. Наличие средств индивидуальной и коллективной защиты, а также средств пожаротушения.
4. Доступ на рабочее место и возможность быстрой эвакуации.
5. Исправность производственного оборудования.
6. Выполнение производственных операций согласно требованиям технологической документации.
7. Мониторинг распределенных опасных и вредных факторов.
8. Соблюдение установленного порядка и организованности, высокой производственной, технологической и трудовой дисциплины.
9. Квалификация работника.
10. Своевременное прохождение инструктажей и переподготовки работника.
11. Регулярность мониторинга.

Совокупность данных по основным параметрам безопасности рабочего места позволяет получить такую характеристику рабочего процесса, как напряженность труда. Эта интегрированная характеристика трудо-

вого процесса показывает нагрузку на нервную систему, органы чувств, учитывает эмоциональную составляющую. Напряженность труда нормируется по видам нагрузок: интеллектуальные, сенсорные, эмоциональные, монотонные, режимные.

Разработка математической модели ЭС «СТРАЖ». При разработке математической модели ЭС «СТРАЖ» 21 эксперт оценивал параметры безопасности рабочего места по шкале от 1 до 12 баллов. Опрос проводился с помощью анкетирования. На основе его результатов создана сводная матрица оценки параметров безопасности рабочего места (рис. 2).

ПАРАМЕТРЫ	**ЭКСПЕРТЫ**																				
	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**13**	**14**	**15**	**16**	**17**	**18**	**19**	**20**	**21**
Исправность производственного оборудования	11	10	11	11	12	11	12	10	11	8	11	10	10	11	12	11	10	11	10	11	7
Доступ на рабочее место и возможность быстрой эвакуа-	10	11	12	10	9	10	7	9	7	5	10	11	12	10	10	7	12	10	11	8	10
Наличие средств индивидуальной защиты и пожаротушения	9	9	9	8	10	9	9	11	9	9	12	9	8	9	9	10	9	9	9	9	11
Соответствие оборудования антропометрии человека	5	6	5	7	5	5	6	5	5	2	5	5	6	4	6	5	6	5	7	5	3
Мониторинг распределенных опасных и вредных факторов	12	12	10	12	11	12	11	12	12	12	9	12	11	12	11	12	11	12	12	12	9
Квалификация работника	2	2	2	2	4	2	2	3	2	10	2	2	2	2	3	2	2	2	2	2	6
Оснащенность рабочего места	6	5	6	6	6	6	5	6	6	6	6	6	5	6	5	6	3	6	6	6	5
Выполнение производственных операций согласно требованиям	4	4	4	4	2	3	4	4	4	4	4	4	4	5	4	4	5	4	4	4	8
Прохождение инструктажей и переподготовки работника	7	7	8	5	7	8	10	7	10	7	7	7	7	7	7	9	8	7	5	7	4
Соблюдение порядка и дисциплины	3	3	3	3	3	4	3	2	3	3	3	3	3	3	2	3	4	3	3	3	12
Регулярность мониторинга	8	8	7	9	8	7	8	8	8	11	8	8	9	8	8	8	7	8	8	10	2

Рис. 2. Матрица оценки параметров безопасности рабочего места

Ключевым результатом методики экспертных оценок является коэффициент конкордации Кэндалла, оценивающий согласованность экспертной группы:

$$W = \frac{12 \cdot S}{m^2 \cdot (n^3 - n)} \ , \qquad (1)$$

где W — коэффициент конкордации, m — число экспертов, n — количество параметров, S — сумма квадратов отклонений сумм рангов, полученных каждым параметром, от средней суммы рангов.

Сумма квадратов отклонений рангов S рассчитывается по формуле:

$$S = \sum_{i=1}^{n} D_i^2 = \sum_{i=1}^{n} (d_i - \overline{d})_i^2 \ , \qquad (2)$$

где D_i — отклонение ранга, i — порядковый номер параметра, d_i — ранг параметра, $\overline{d}$ — среднее арифметическое ранга параметра.

Коэффициент конкордации изменяется в диапазоне от 0 до 1: 0 соответствует полной несогласованности экспертов, 1 — полной согласованности. Если коэффициент конкордации равен нулю, необходимо проверить исходные данные и (или) проанализировать состав экспертов с целью их замены (частичной или полной). Если значение коэффициента превосходит 0,4–0,5, качество оценки считается удовлетворительным, если достигает 0,7–0,8 — высоким.

Таким образом, при расчете коэффициента конкордации по формулам (1) и (2) получим следующие значения параметров:

$$S = \sum_{i=1}^{n} (d_i - \overline{d})^2 = 5476 + 2916 + ... + 361 = 39142 \, ,$$

$$W = \frac{12 \cdot S}{m^2 \cdot (n^3 - n)} = \frac{12 \cdot 39142}{21^2 \cdot (11^3 - 11)} = 0{,}806 \, .$$

С помощью критерия Пирсона «хи-квадрат» [12] проверяется нулевая гипотеза h_0: $W = 0$ (мнения экспертов не согласуются друг с другом), при альтернативной h_1: $W \neq 0$ (мнения экспертов согласуются друг с другом).

В расчетную табл. 1 вносим экспертные оценки, ранговые суммы d_i, отклонения D_i суммы рангов от средней $\overline{d}$ и D_i^2.

Таблица 1

Расчет коэффициента конкордации

	Эксперты																					$d_i=\sum_{j=1}^{m} R_{ij}$	D_i	D_i^2
Параметры	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21			
1	11	10	11	11	12	11	12	10	11	8	11	10	10	11	12	11	10	11	10	11	7	221	74	5476
2	10	11	12	10	9	10	7	9	7	5	10	11	12	10	10	7	12	10	11	8	10	201	54	2916
3	9	9	9	8	10	9	9	11	9	9	12	9	8	9	9	10	9	9	9	9	11	196	49	2401
4	5	6	5	7	5	5	6	5	5	2	5	5	6	4	6	5	6	5	7	5	3	108	–39	1521
5	12	12	10	12	11	12	11	12	12	12	9	12	11	12	11	12	11	12	12	12	9	239	92	8464
6	2	2	2	2	4	2	2	3	2	10	2	2	2	2	3	2	2	2	2	2	6	58	–89	7921
7	6	5	6	6	6	6	5	6	6	6	6	6	5	6	5	6	3	6	6	6	5	118	–29	841
8	4	4	4	4	2	3	4	4	4	4	4	4	4	5	4	4	5	4	4	4	8	87	–60	3600
9	7	7	8	5	7	8	10	7	10	7	7	7	7	7	7	9	8	7	5	7	4	151	4	16
10	3	3	3	3	3	4	3	2	3	3	3	3	3	3	2	3	4	3	3	3	12	72	–75	5625
11	8	8	7	9	8	7	8	8	8	11	8	8	9	8	8	8	7	8	8	10	2	166	19	361
																						1617		39142

Средняя сумма рангов всех параметров равна $\overline{d} = \frac{\sum_{j=1}^{m} R_{ij}}{n} = \frac{1617}{11} = 147.$

В качестве контроля вычислений используем выражение $\overline{d} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot (n+1) = \frac{1}{2} \cdot 21 \cdot (11+1) = 147.$

Для проверки нулевой гипотезы с помощью критерия Пирсона «хи-квадрат» вычисляем эмпирическое значение $\chi^2 = m \cdot (n-1) \cdot W = 21 \cdot 10 \cdot 0{,}806 = 169{,}4$, которое сравниваем с критическими значениями «хи-квадрат» для числа степеней свободы $n-1=10$.

Эмпирическое значение $\chi^2 = 169{,}4$ попадает в критическую область $\chi^2 > \chi^2_{0{,}01}(n-1)$ ($169{,}4 > 23{,}2$), что позволяет отвергнуть нулевую гипотезу. Коэффициент конкордации значимо отличается от нуля, следовательно, имеется достаточно тесная согласованность мнений экспертов относительно оцениваемых параметров.

Результаты исследования. ЭС разрабатывается в три этапа: моделирование, проектирование, конструирование [13]. На этапе моделирования проводится анализ предметной области с целью выявления наиболее существенных связей и отношений между объектами, определяются совокупности входных и выходных параметров, степень их влияния на исследуемые процессы. Для построения математической модели ЭС «СТРАЖ» выявлены параметры безопасности рабочих мест машиностроительных производств. При оценке параметров безопасности возникла необходимость отбора экспертов-практиков, максимально осведомленных об организации технологических процессов в машиностроении, поскольку нет методик, позволяющих гарантированно получить однозначные оценки безопасности. В качестве экспертов выбрали инженеров по охране труда ведущих предприятий машиностроения Ростовской области, а также ведущих преподавателей кафедры «Технология машиностроения» Донского государственного технического университета.

Обсуждение и заключения. По данным представленного исследования, коэффициент конкордации достиг 0,806. Это свидетельствует о высокой согласованности мнений экспертов, подтверждено проверкой по критерию Пирсона и является необходимым условием для разработки модели ЭС высокой точности.

В современной науке значимое место занимает проблема поддержки принятия решений с использованием ЭС. Внедрение подобных систем в машиностроении позволит:

— сократить время решения сложных вопросов, связанных с обеспечением безопасности;
— снизить вероятность принятия ложного решения;
— повысить уровень безопасности труда.

Актуально изучение данного вопроса в условиях современного инновационного производства.

Библиографический список

1. Cook, D. Smart Environments. Technologies, protocols and applications / D. Cook, S. Das // Hoboken : Wiley–Interscience, 2005. — P. 3.

2. Семенов, И. О. Актуальность экспертных систем и их значение в экономике [Электронный ресурс] / И. О. Семенов, Т. А. Серебрякова // Студенческий форум — 2018. — № 3 (24). — URL : https://nauchforum.ru/journal/stud/24/31118 (дата обращения : 07.05.2019).

3. Рутковский, Л. Методы и технологии искусственного интеллекта / Л. Рутковский. — Москва : Горячая линия — Телеком, 2010. — 520 с.

4. Уотермен, Д. Руководство по экспертным системам / Д. Уотермен. — Москва : Мир, 1989. — 388 с.

5. Giarratano, J. Expert Systems — Principles and Programming / J. Giarratano, G. Riley. — 4th ed. — San Francisco : Course Technology, 2004. — 302 p.

6. Математическое моделирование пожарной безопасности высших учебных заведений / В. Г. Шаптала, В. Н. Шульженко, В. Ю. Радоуцкий, В. В. Шаптала // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В. Г. Шухова. — 2008. — № 4. — С. 63–65.

7. Попов, Э. В. Системы общения и экспертные системы / Э. В. Попов. — Москва : Радио и связь, 1990. — 464 с.

8. Мокану, А. А. Применение экспертных систем в машиностроении [Электронный ресурс] / А. А. Мокану, Е. С. Страмцова, Р. А. Пушина // Научное сообщество студентов XXI столетия. Технические науки : сб. ст. по мат. LXV междунар. студ. науч.-практ. конф. — URL : https://sibac.info/archive/technic/5(64).pdf (дата обращения : 13.05.2019).

9. Сапожников, А. Ю. Применение экспертных систем в процессе проектирования авиационных ГТД [Электронный ресурс] / А. Ю. Сапожников, И. А. Кривошеев // Молодой ученый. — 2017. — № 12. — 90–97 с. — URL : https://moluch.ru/archive/12/972/ (дата обращения : 12.05.2019).

10. Cross, T. B. Knowledge Engineering 2016 The Uses of Artificial Intelligence in Business / T. B. Cross. — Boulder : TECHtionary Corporation, 2016. — 236 p.

11. Литвак, Б. Г. Экспертная информация: методы получения и анализа / Б. Г. Литвак. — 2-е изд., стер. — Москва : Исследовательский центр проблем качества подготовки специалистов, 2009. — 223 с.

12. Харченко, М. А. Корреляционный анализ / М. А. Харченко. — Воронеж : ВГУ, 2008. — 30 с.

13. Солонщиков, П. Н. Интегральная оценка тяжести труда, как один из методов прогнозирования несчастных случаев на предприятии / П. Н. Солонщиков // Advanced Science. — 2017. — № 2. — С. 35.

Поступила в редакцию 14.01.2020
Запланирована в номер 06.03.2020

Об авторах:

Захарова Ольга Алексеевна, доцент кафедры «Информационные технологии», заместитель начальника управления цифровых образовательных технологий ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет» (344000, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), кандидат педагогических наук, доцент, ORCID: https://orcid.org/0000–0001–6240–3268, Oz64@mail.ru

Селихина Александра Викторовна, аспирант кафедры «Теоретическая и прикладная механика» ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет» (344000, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), ORCID: https://orcid.org/0000–0002–6486–7792, Selihina90@mail.ru.

Везиров Тимур Гаджиевич, профессор кафедры «Информационные технологии и информационная безопасность» ФГБОУ ВО «Дагестанский государственный университет народного хозяйства» (367008, РФ, г. Махачкала, ул. Джамалутдина Атаева, 5), доктор педагогических наук, ORCID: https://orcid.org/0000–0003–4592–8462, timur.60@mail.ru.

Заявленный вклад соавторов

Т. Г. Везиров — выбор и обоснование параметров безопасности — 20 %; О. А. Захарова — постановка задачи, методика исследований, трактовка результатов исследования — 40 %; А. В. Селихина — исследование предметной области, проведение исследования, обработка результатов — 40 %.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.